

**MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RISCO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO BASEADO EM MODELOS 3D DE ALTA RESOLUÇÃO MULTI-TEMPORAIS**

Amanda Mendes de Sousa <sup>1</sup>; Carlos Henrique Grohmann <sup>2</sup>; Camila Duelis Viana <sup>3</sup>

**Resumo** – O monitoramento das áreas de risco é uma ferramenta eficaz para diagnosticar mudanças nas ocupações inseridas em locais suscetíveis a processos de movimento de massas. Este trabalho apresenta os resultados preliminares de um estudo cujo objetivo é comparar modelos digitais 3D gerados em, no mínimo, duas épocas distintas de duas áreas urbanas classificadas como suscetíveis a processos de escorregamento: no entorno do CEU Paz e na área do Parque Santa Madalena I, respectivamente nas zonas norte e leste do Município de São Paulo. A partir da comparação dados do LiDAR com o executado com RPA em novembro/2019, observamos que o modelo digital obtido pelo último permite observar mais detalhes das construções, confirmando que esse método é eficiente para detecção de mudanças em núcleos urbanos informais, dinamizando o monitoramento das áreas de risco.

**Abstract** – The monitoring of risk areas is an effective tool to diagnose changes in occupations inserted in places susceptible to mass movements. This work presents the preliminary results of a study whose objective is to compare 3D digital models generated in at least two different periods of two urban areas classified as susceptible to landslides: in the surroundings of CEU Paz and in the area of Santa Madalena I Park, respectively in the north and east of the city of São Paulo. From the comparison of LiDAR data with the one executed with RPA in November/2019, we observed that the digital model obtained by the latter allows us to observe more details of the constructions, confirming that this method is efficient for detecting changes in informal urban centers, streamlining monitoring of risk areas.

**Palavras-Chave** – risco geológico, drone, RPA, Structure-from-Motion, núcleos urbanos informais

---

<sup>1</sup> Geóg., Prefeitura de São Paulo, (11) 3113-7981, amandamsousa@prefeitura.sp.gov.br

<sup>2</sup> Geól., Dr, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP (11) 3091-2627, guano@usp.br

<sup>3</sup> Geól., Dra, Prefeitura de São Paulo, (11) 3311-8784, duelis@prefeitura.sp.gov.br

## 1 - INTRODUÇÃO

O monitoramento das áreas de risco é uma ferramenta eficaz para diagnosticar mudanças nas ocupações inseridas em locais suscetíveis a processos de movimento de massas. Pensando nisso é que se faz necessário intensificar a observação de áreas com essa realidade, tendo como objetivo identificar feições e condicionantes que manifestem a instalação de possíveis eventos geológicos, além de tornar possíveis, a partir do conhecimento obtido das áreas, a proposição de ações que busquem preservar vidas e minimizar danos às populações que ali habitam.

O objetivo deste estudo é comparar modelos digitais 3D gerados em, no mínimo, duas épocas distintas de duas áreas urbanas classificadas como suscetíveis a processos de escorregamento: no entorno do CEU Paz e na área do Parque Santa Madalena I, ambas no Município de São Paulo. A partir da comparação, será possível verificar se esse método é viável para aprimorar o processo de monitoramento das ocupações em áreas de risco, bem como detectar mudanças dos cenários urbanos. O projeto é realizado em parceria com a Defesa Civil do Município de São Paulo, e serão apresentados os resultados preliminares para a coleta de imagens realizada em novembro/2019.

## 2 - ÁREAS DE ESTUDO

A área de estudo denominada como CEU Paz está localizada no distrito da Brasilândia, na subprefeitura de Freguesia do Ó/Brasilândia, Zona Norte do município de São Paulo. Já a área denominada como Parque Santa Madalena I, está contida no distrito e subprefeitura de Sapopemba, na Zona Leste do município.

As áreas estão inseridas na unidade morfoescultural do Cinturão Orogênico do Atlântico, formação que acontece em uma faixa orogênica antiga e que apresenta “relevos sustentados por litologias diversas, quase sempre metamórficas associadas com intrusivas” (ROSS E MOROZ, 2011), e correspondem a encostas em processo de escorregamento planar em encosta e em taludes de corte e aterro, com expressivo acúmulo de lixo e entulho na área do Parque Santa Madalena I, tendo seus potenciais de risco reconhecidos pela Prefeitura do Município de São Paulo (PMSF) desde 2003/2004 em mapeamento de risco.

## 3 - MÉTODOS

Para atender ao objetivo proposto, optou-se pela geração de modelos digitais de superfície (DSM - GUTH et al., 2021), através de fotogrametria digital usando o método *Structure from Motion - Multi-View Stereo* (SfM-MVS). De maneira resumida, os algoritmos envolvidos são capazes de criar, de modo altamente automatizado, um modelo 3D de alta resolução semelhante ao objeto de estudo, a partir de um conjunto de imagens 2D obtidas de pontos de vista diferentes (WESTOBY et al., 2012). Neste projeto optou-se pelo processamento do conjunto de imagens no programa Agisoft Metashape Professional 1.7 (<https://www.agisoft.com/>), utilizando o fluxo de processamento e os parâmetros pré definidos pelo programa. Além de nuvens de pontos de alta densidade, o programa também gera modelos tridimensionais, ortomosaicos e DSMs, sendo este utilizado para a comparação e análise apresentada a seguir.

Para a obtenção das imagens, optou-se pela utilização de aeronave remotamente pilotada (RPA - *Remotely Piloted Aircraft*), popularmente chamada de drone. O RPA como plataforma de aquisição de imagens popularizou-se por sua flexibilidade e custo benefício, viabilizando levantamentos cartográficos de alta qualidade (SANTOS, 2020). Os voos foram realizados em novembro/2019 nas duas áreas, segundo os parâmetros apresentados na Tabela 1, utilizando um RPA da fabricante DJI, modelo Phantom 4 Pro. Os sobrevoos foram feitos de maneira automatizada, utilizando o aplicativo Map Pilot. O planejamento e armazenamento do padrão de voo através do aplicativo, além de facilitar a execução do levantamento, permite sua replicação ao longo do tempo. Considerando que as áreas de estudo apresentam topografia acidentada, o voo foi realizado em altura constante em referência ao solo, de modo a manter a resolução espacial mais homogênea nas imagens.

Por serem áreas de risco e com criminalidade alta, não foi possível coletar coordenadas de pontos de controle em solo para georreferenciamento preciso dos modelos gerados.

Tabela 1. Descrição dos parâmetros dos voos e metragem das áreas imageadas.

Parâmetros	CEU Paz	Parque Santa Madalena I
Altura de voo	150 metros	100 metros
Sobreposição	75% frontal e 75% lateral	
Angulação da câmera	-80°	
GSD	4,06 cm/px	2,63 cm/px
Área sobrevoada	~89.000 m <sup>2</sup>	~92.000 m <sup>2</sup>
Linhas de voo executadas	14	10

Em dezembro de 2019 a Cidade de São Paulo disponibilizou um levantamento realizado com LiDAR aéreo (acrônimo de *Light Detection and Ranging*, técnica para levantamento de dados geométricos a partir de escâneres laser) em 2017, para toda a área do município (disponível em <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>). Os dados LiDAR constituem uma nuvem de pontos com coordenadas X,Y,Z. Esses dados foram importados no programa GRASS-GIS 7.8 (<https://grass.osgeo.org/>) e filtrados para preservar os pontos com maior valor de elevação em células de 0,5 m. O conjunto final de pontos foi submetido a uma interpolação bilinear para construir um DSM da área da cidade de São Paulo com resolução espacial de 0,5 m.

Os DSMs processados pelo Metashape através das imagens levantadas pelo RPA foram então comparados com o DSM produzido pelo levantamento LiDAR da cidade de São Paulo. Ao compararmos perfis topográficos produzidos pelos diferentes DSMs, podemos notar que há uma diferença considerável na coordenada Z, principalmente na área do CEU Paz (fig. 1), enquanto que a diferença nas coordenadas X e Y é bem menor. Ao calcular os mapas de diferença entre SfM-MVS e LiDAR, utilizando álgebra de mapas no programa QGIS, obtivemos os valores de +1,56 m para a área do Parque Santa Madalena e -21,63 m para a área do CEU Paz.

Considerando esses valores, foi possível fazer um ajuste na elevação nos DSMs produzidos por SfM-MVS (ou seja, somamos 21,63 m ao DSM do CEU Paz e subtraímos 1,56 m ao DSM do Parque Santa Madalena). Após esse ajuste, novos mapas de diferença foram calculados (figs. 2 C/F).

Os produtos gerados mostram claramente mudanças na superfície entre os anos de 2017 e 2019 que refletem a dinâmica de ocupação das áreas. De maneira específica, no CEU PAZ é possível notar, através das anomalias negativas, expressiva supressão de vegetação na porção sul e aumento de moradias (novas construções ou adição de pavimentos em construções existentes) nas porções oeste e nordeste (fig. 2F). No Parque Santa Madalena, o mapa também aponta supressão de vegetação e mudanças nas construções, porém de maneira menos expressiva que no CEU Paz, com exceção da construção de uma nova edificação (diferença positiva), marcada com um círculo na figura 2C. Estes resultados podem indicar locais onde houve modificação dos condicionantes de risco, direcionando vistorias *in loco* da Defesa Civil. Essa ferramenta é interessante especialmente em áreas extensas que estão nos estágios iniciais de ocupação, como é o caso do CEU Paz, onde as constantes modificações do terreno podem agravar os cenários de risco.

#### 4 - CONCLUSÕES

A partir da comparação preliminar dos dados do LiDAR com o executado em novembro/2019, observamos que o DSM obtido pelo levantamento com RPA e com o método de SfM-MVS permite observar mais detalhes das construções, confirmando que esse método facilita a obtenção de informação sobre o território. Sendo assim, os resultados preliminares apontam que o método proposto se mostra bastante eficiente para detecção de mudanças em núcleos urbanos informais, dinamizando o monitoramento das áreas de risco.

As próximas atividades do projeto incluem a avaliação de co-registro dos DSMs para melhor ajuste entre os conjuntos de dados antes do cálculo das diferenças. Adicionalmente, foi realizado um novo levantamento com RPA em abril de 2022, permitindo que sejam feitas comparações

entre os dados do LiDAR, e dos sobrevoos de 2019 e de 2022. Essas comparações serão realizadas no QGIS, utilizando o método de álgebra de mapas para detectar possíveis mudanças nos modelos. Com isso, pretende-se criar um fluxo de trabalho que possa ser facilmente replicado para auxiliar no monitoramento de áreas de risco.



Figura 1. Perfis topográficos (aproximadamente E-W) nas áreas de risco, evidenciando as diferenças entre a topografia realizada com LiDAR aeropoartado e com RPA. Acima: Parque Santa Madalena I. Abaixo: CEU Paz.

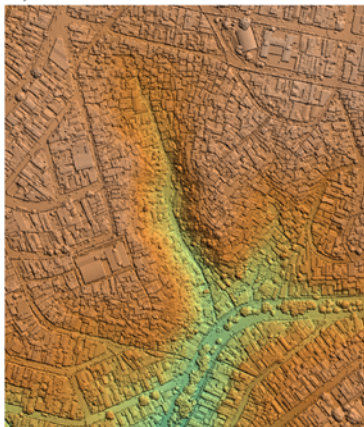
## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (procs. #2016/06628-0, #2019/26568-0) e CNPq (proc. 311209/2021-1, 304413/2018-6) pelo fomento à pesquisa, ao Instituto de Geociências da USP e ao PPG-RMH pelo suporte oferecido.

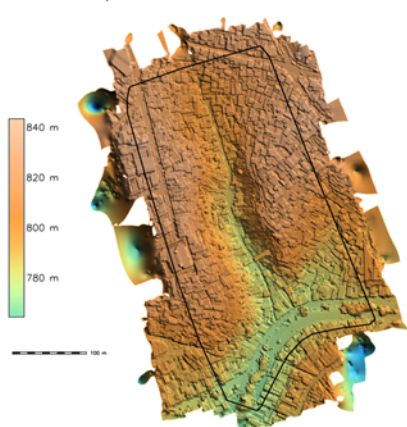
## REFERÊNCIAS

- GUTH, P.L. et al. (2021) “*Digital Elevation Models: Terminology and Definitions*” in *Remote Sensing*, 13(18):3581.
- ROSS, J.L.S., MOROZ I.C. (2011) “MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO” in *Revista do Departamento de Geografia*, nº 10, p. 41-58.
- SANTOS, L.F. (2020) “*Utilização de dados 3D de alta resolução para detecção de mudanças em movimentos de massa em Perus, São Paulo (SP)*”, Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 242 p.
- WESTOBY, M.J. et al. (2012) “*'Structure-from-Motion' photogrammetry: a low-cost, effective tool for geosciences applications*” in *Geomorphology*, Vol. 179, p. 300-314.

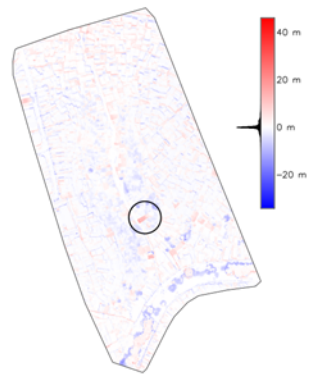
A) DSM LiDAR Madalena



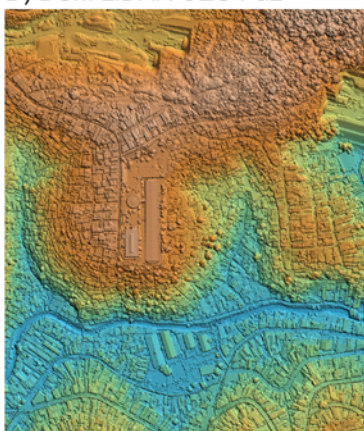
B) DSM SfM-MVS



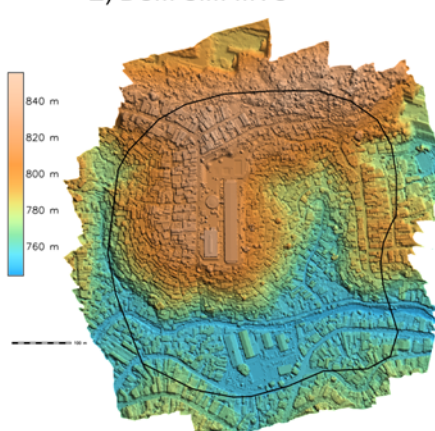
C) Diferença



D) DSM LiDAR CEU Paz



E) DSM SfM-MVS



F) Diferença

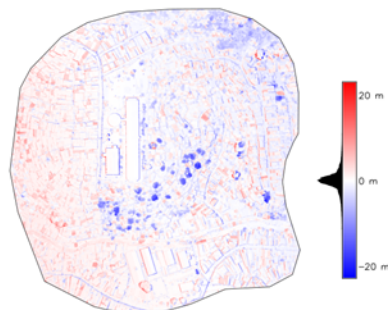


Figura 2. Áreas de risco estudadas. A/D) Imagem de relevo sombreado com sobreposição colorida do MDS produzido com dados de LiDAR aeroportado. B/E) Imagem de relevo sombreado com sobreposição colorida do MDS produzido com SfM-MVS a partir de dados obtidos por RPA. C/F) Mapa de diferença entre os dados de RPA e LiDAR. Notar que os mapas de diferenças foram produzidos *após* o ajuste da elevação observado na figura 1.